



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## SILIKONOVÉ FORMY A JEJICH VYUŽITÍ

SILICONE MOLDS AND THEIR USE

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jiří Rudolf

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Aleš Jaroš, Ph.D.

BRNO 2016

# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie  
Student: **Jiří Rudolf**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Strojírenská technologie  
Vedoucí práce: **Ing. Aleš Jaroš, Ph.D.**  
Akademický rok: 2015/16

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## Silikonové formy a jejich využití

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Bakalářská práce je zaměřena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části je popsána technologie přesného lití metodou vytavitelného modelu. Praktická část je zaměřena na výrobu silikonové formy a následné odlití voskového, případně plastového modelu reálné součásti.

### Cíle bakalářské práce:

Úvod

1. Silikonové formy a jejich využití
2. Technologie vytavitelného modelu
3. Popis výroby silikonové formy
4. Výroba reálné součásti

Závěr

### Seznam literatury:

HORÁČEK, M. Technologie vytavitelného modelu - technologie pro nové tisíciletí. Slévárenství, 2001, č. 10, s. 570 –580. ISSN 0037-6825.

BEELEY, PR., SMART, RF. Investment Casting. 1st ed. Cambridge: The University Press, 1995. 486 p. ISBN 0 901716 66 9.

HORÁČEK, M - CILEČEK, J.: Capabilities of Investment Casting Technology, Livarski ,Vestnik, Vol.54, 4 / 2006, pp. 175-186.

[CAMPBELL, J. Castings. 1st ed. Oxford: Butterworth – Heinemann, 1991. 288 p. ISBN 0 7506 1072.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## ABSTRAKT

Bakalářská práce je zaměřena na návrh a výrobu držáku pro náhlavní sluchátka. Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části je popsána technologie Rapid Prototyping, přesné lití do silikonových forem a přesné lití metodou vytavitelného modelu. Praktická část bakalářské práce je zaměřena na návrh držáku náhlavních sluchátek v programu Autodesk Inventor a jeho následnou výrobu dvěma různými způsoby. Prvním je 3D tisk pomocí metody Fused Deposition Modeling a druhým odlití voskových a plastových modelů pomocí formy ze silikonového kaučuku. V závěru práce se nachází technicko-ekonomické zhodnocení a srovnání obou metod výroby.

### Klíčová slova

Silikonová forma, Rapid Prototyping, 3D tisk, Držák na sluchátka, Technologie vytavitelného modelu

## ABSTRACT

Bachelor thesis is focused on the design and production of a headphone holder. Thesis is divided into theoretic and practical part. The theoretic part is described Rapid Prototyping technology, precision casting with use of silicone molds and precision investment casting. The practical part is focused on the design of a headphone holder in CAD system Autodesk Inventor and following production via two different methods. The first way is 3D printing by Fused Deposition Modeling method and the second way is casting wax and plastic models using a silicone rubber mold. Conclusion of this thesis contains technical-economic evaluation and comparison of both manufacturing methods.

### Key words

Silicone mold, Rapid Prototyping, 3D print, Headphone holder, Investment casting technology

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

RUDOLF, J. Silikonové formy a jejich využití. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 44 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Aleš Jaroš, Ph.D.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Silikonové formy a jejich využití** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....  
Datum

.....  
Jiří Rudolf

## PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto svému vedoucímu práce Ing. Aleši Jarošovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce a také za pomoc při výrobě silikonové formy. Dále bych chtěl poděkovat své rodině a přátelům za podporu a umožnění studia na vysoké škole.

**OBSAH**

ABSTRAKT .....	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ .....	6
OBSAH.....	7
ÚVOD.....	8
1 TEORETICKÁ ČÁST .....	9
1.1 Technologie Rapid Prototyping .....	9
1.2 Silikonové formy a jejich využití .....	10
1.3 Technologie vytavitelného modelu .....	13
2 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST .....	16
2.1 Konstrukce modelu pomocí programu Autodesk Inventor .....	16
2.2 Vstupní data pro 3D tisk .....	20
2.3 Uplatnění metody Fused Deposition Modeling .....	22
2.4 Charakteristika 3D tiskárny Dimension uPrint .....	23
2.5 Tisk modelu držáku.....	24
2.6 Příprava modelu pro výrobu silikonové formy .....	26
2.7 Popis výroby silikonové formy .....	27
2.8 Výroba odlitků z vosku .....	29
2.9 Výroba odlitků z pryskyřice.....	31
3 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	33
3.1 Náklady na 3D tisk pomocí metody FDM .....	33
3.2 Náklady na výrobu silikonové formy.....	33
3.3 Srovnání nákladů na výrobu metodu FDM a odlévání .....	35
ZÁVĚR .....	38
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	39
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....	42
SEZNAM PŘÍLOH.....	44

## ÚVOD

Tématem bakalářské práce je použití silikonové formy k výrobě držáku náhlavních sluchátek. Technologie přesného lití do silikonových forem patří k moderním technologiím ve slévárenské oblasti. Využívá se k výrobě prototypů a menších sérií výrobků. Významné je použití metody pro zhotovení voskových modelů, které jsou dále užívány při výrobě součástí z kovových slitin metodou vytavitelného modelu. Správné použití silikonové formy zaručuje velice dobrou jakost odlitků, které jsou blízké finálním výrobkům. To umožňuje výrobu tvarově složitých součástí a použití obtížněji zpracovatelných materiálů, které by bylo obtížné nebo nebylo možné zhotovit pomocí konvenčních metod.

Výroba s využitím silikonové formy je srovnána s technologií Rapid Prototyping, konkrétně s využitím metody Fused Deposition Modeling. Vstupní data pro tuto technologii jsou vytvořena na počítači pomocí 3D modeláře. Technologie Rapid Prototyping je aditivní, to znamená, že pro vytvoření požadovaného modelu je nutné materiál postupně přidávat. Na rozdíl od konvenčních metod obrábění, kdy je materiál odebírán. V současné době je výroba fyzických modelů a prototypů pomocí 3D tisku (hlavně metodou FDM) velice rozšířená, především díky stále větší dostupnosti 3D tiskáren.

Obě tyto metody jsou vhodné k výrobě prototypových dílů s mechanickými vlastnostmi blízcími se finálním součástí. Jejich princip je popsán v teoretické části práce a v praktické části jejich užití k výrobě držáku sluchátek. V závěru práce byla srovnána ekonomická a technická výhodnost obou možností.

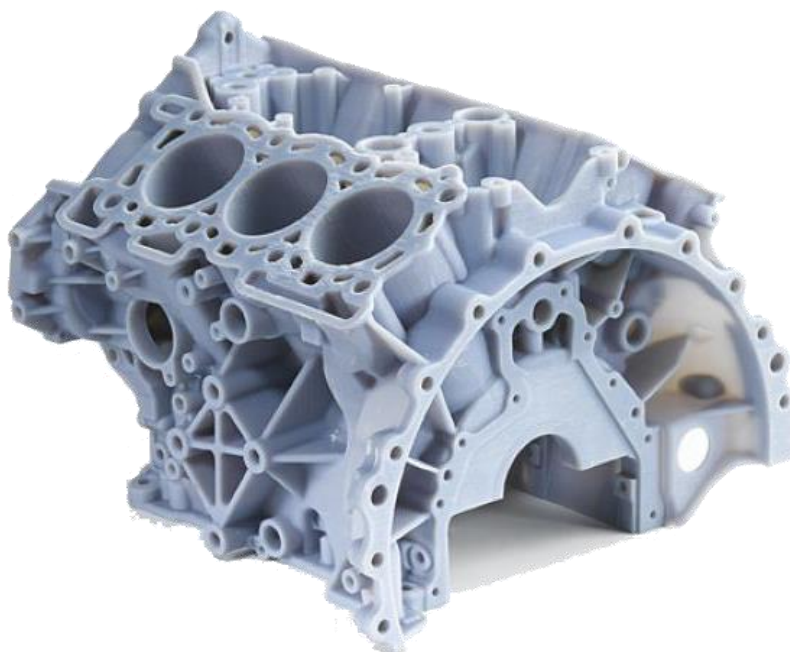


## 1 TEORETICKÁ ČÁST

První část práce je věnovaná seznámení s technologiemi a metodami potřebnými k výrobě nástěnného držáku pro náhlavní sluchátka. Přestože byl držák navrhnut pro sluchátka JVC HA-RX300, jeho konstrukce by měla vyhovovat většině jiných sluchátek obdobné konstrukce. K výrobě byla vzhledem k tvaru součásti zvolena technologie přesného lití do silikonové formy vytvořené pomocí master modelu vyrobeného aditivní metodou Fused Deposition Modeling, jedné z technologií Rapid Prototyping.

### 1.1 Technologie Rapid Prototyping

Pojmem Rapid Prototyping (rychlé prototypování, dále pouze RP) se rozumí souhrn technologií sloužících pro výrobu fyzického modelu ze souboru třírozměrných dat. Tato technologie využívá přidávání tenkých vrstev materiálu o konstantní tloušťce k výrobě modelů [1]. Hlavní výhodou technologie RP je rychlost zhotovení prototypových součástí vzhledem ke konvenčním metodám obrábění. Mezi další výhody RP patří možnost výroby tvarově a geometricky složitých dílů (viz obr. 1.1), nízké výrobní náklady a jednoduchá příprava dat pro výrobu [2]. Nevýhodou jsou horší mechanické vlastnosti výrobku a vysoké pořizovací náklady zařízení pro 3D tisk. Nejčastěji je technologie RP využívána pro tvorbu fyzických prototypů, které jsou pro svou vysokou geometrickou přesnost vhodné pro kontrolu funkčních vlastností součástí a ověření montážních postupů finálního výrobku. Takto vyrobené modely lze také využít k tvorbě forem a nástrojů pro výrobní série větších objemů nebo pouze vizuální prezentaci výrobku. Případně technologie umožňuje přímou výrobu součástí o malém počtu kusů [3].



Obr. 1.1 Model motoru [4].

K získání dat pro výrobu lze požit třemi různými postupy. Prvním je reverzní inženýrství, kdy je reálný díl naskenován prostorovým skenerem a tato data jsou převedena na virtuální 3D model [1]. Druhým postupem je využití CAD softwaru k vytvoření virtuálního 3D modelu a jeho následné převedení do neutrálního formátu STL (Standard Triangle Language nebo Stereolithography pojmenované vynálezcem metody Chucka Hulla), se kterým tiskárny pro RP pracují [5]. Třetí možností je využití řídicího CNC systému [1].

Metody RP jsou rozdělovány na fotopolymerové (kapalné), pevnolátkové a práškové. Mezi základní fotopolymerové metody patří Stereolitografie (SL), využívající vytvrzování kapalného fotopolymeru UV laserem a Solid Ground Curing (SGC), metoda velice podobná Stereolitografii, lišící se použitím masky pro osvětlení celé vrstvy najednou. Metody pracující s pevným materiálem jsou Laminated Object Manufacturing (LOM), metoda vytvářející model ořezem a následným lepením folií ve vrstvách na sebe a Fused Deposition Modeling (FDM), nanášející vlákna termoplastu zahřátá na teplotu tavení. Základní práškové metody jsou Selective Laser Sintering (SLS), principem velice podobná metodě SL a Direct Metal Laser Sintering (DMLS), pracující pouze s kovovým práškem. V závislosti na zvolené metodě technologie RP umožňuje tisk z papíru, vosku, pryskyřice, fotopolymeru, nylonu, keramiky, kovového prášku [1].

Uplatnění má RP také v medicíně např. vizuální simulace operačního zákroku, tvorba implantátů a protéz přizpůsobených každému pacientovi (viz obr. 1.2) [6], archeologii např. rekonstruování poškozených nálezů a umění např. v sochařství a šperkařství (viz obr. 1.3) [7].



Obr. 1.2 Model lebky [4].



Obr. 1.3 Tvarově komplikovaná váza [4].

## 1.2 Silikonové formy a jejich využití

Prototypy vyrobené technologií RP obvykle nesplňují požadavky kladené na finální produkt, nejčastěji nevyhovují jejich mechanické vlastnosti. Právě proto byla vyvinuta technologie Rapid Tooling (dále pouze RT) jako rozšíření RP, zabývající se rychlým zhotovením forem (nástrojů) pro výrobu. RT se dělí na Soft a Hard Tooling, ale i na přímé a nepřímé výroby forem. Formy ze silikonového kaučuku jsou nejčastěji vytvářeny

nepřímou formou metody Soft Tooling. O nepřímou výrobu formy se jedná, protože k jejímu zhotovení je nutný master model vytvořený pomocí některé z metod RP (nejčastěji SL nebo FDM). Silikon používaný pro výrobu forem je nejčastěji dvousložkový, skládající se ze základní složky a vytvrzovacího činidla. Po smíchání obou složek a zalití master modelu proběhne vulkanizace silikonu za pokojové teploty (proces lze uspišit temperováním při teplotách 50 až 70 °C) [8]. Master model je po úpravách, jako zjemnění struktury povrchu a zalepení děr, zalit tekutým silikonem, který byl zbaven vzduchových bublinek vakuováním. Povrch modelu je třeba upravit, protože silikonová forma je schopna zachytit i takové detaily jako škrábance nebo otisky prstu. Po vytvrzení silikonu, oddělení jednotlivých částí formy a vyjmutí master modelu je forma připravena k použití (viz obr. 1.4). Master model se při výrobě formy zachová a lze jej dále použít [9].



Obr. 1.4 Silikonová forma společně s odlitkem rámu telefonu [10].

Forem ze silikonové pryže je často využíváno při vývoji. Hlavně díky rychlosti vytvoření prototypu, jednoduché manipulaci a nízké ceně výroby při srovnání s technologií vstřikování plastů. Uplatnění naleznou i při výrobě malých sérií finálních součástí, protože nabízí větší pevnost a lepší odolnost vůči mechanickému opotřebení, než součásti vyrobeny technologiemi RP. Příklad výrobků lze vidět na obr. 1.5. Výhodnou vlastností forem ze silikonové pryže je pružnost, která umožňuje tvorbu tvarově složitých součástí, vyjmutí odlitků s negativním zkosením. Dalšími přednostmi jsou přesné zachování délkových rozměrů odlitku, schopnost reprodukovat i nepatrné detaily na povrchu modelu, minimální smrštění formy [9]. Průhlednost silikonové pryže je výhodnou vlastností pro přesné rozříznutí formy podle dělicí roviny. Při odlévání polyuretanových pryskyřic lze snižováním průhlednosti formy sledovat její opotřebení. To je způsobeno difundováním isokyanátu (který s polyolem tvoří polyuretan) do silikonu během odlévání [11]. Technologie Rapid Soft Tooling je vhodná pro malé výrobní série, kvůli nízkému počtu použití silikonové formy než dojde k jejímu poškození. Počet kusů vyrobitelných v jedné silikonové formě se pohybuje řádově v desítkách. Množství se odvíjí od požadované přesnosti, tvarové složitosti součástí a vlastností použitého materiálu. Silikony lze rozlišovat podle vlastností jako viskozita, tvrdost, doba práce se směsí. Silikonové formy se nejčastěji používají pro odlévání dílů z vosků, polyuretanových pryskyřic, epoxidů a keramiky [8]. Dalším omezením technologie je velikost produkovaných odlitků, závisící na rozměrech výrobního zařízení [12].



Obr. 1.5 Příklad dílů zhotovených odléváním do silikonové formy [13].



### 1.3 Technologie vytavitelného modelu

Přesné lití, technologie známá také pod anglickým názvem investment casting, je způsob výroby kovových součástí tvarově i rozměrově blízkých finálním výrobkům. Takto vyrobené součásti díky vysoké kvalitě povrchu a rozměrové přesnosti nevyžadují žádné nebo pouze minimální dokončující opracování funkčních ploch [14]. Technologie přináší efektivní výrobu plně funkčních prototypů, a tak dále urychlí proces vývoje výrobku. Především ve spojení s RP přesné lití přináší úsporu materiálu a energie potřebné pro obrábění, frézování či broušení. Použití technologie přesného lití umožňuje výrobu tvarově jednoduchých, ale i velmi složitých součástí, které by nebylo možné zhotovit jinou metodou, nebo by jejich výroba byla velice nákladná např. lopatky turbín. Největší nevýhodou jsou náklady na produkci většího počtu kusů [15].

Technologie přesného lití metodou vytavitelného modelu (označována také jako metoda ztraceného vosku) je jednou z metod technologie přesného lití kovových součástí. Vzorem pro výrobu forem je nejčastěji voskový model zhotovený RP nebo RT technologií. Výroba pomocí těchto technologií přináší úsporu nákladů a času ve srovnání s konvenčními metodami výroby. Použitím většího počtu modelů a jejich připojením ke vtokové soustavě do podoby „stromčku“, vyrobíme více součástí při jednom odlévání. Voskový stromček je namočen do keramické břechky, následně posypán žáruvzdorným materiálem a vysušen na vzduchu. Tento postup je několikrát opakován, díky tomu je keramická skořepina dostatečně pevná pro odlévání. Následně je vosk vytaven ze skořepiny, která je poté vytvrzena při teplotě zhruba 1000 °C. Roztavený kov je odléván okamžitě po vytvrzení skořepiny (viz obr. 1.6), tím předejdeme teplotnímu šoku, který by mohl způsobit poškození keramické skořepiny. Po vychladnutí je skořepina odstraněna. Odstranění keramické skořepiny lze provést mechanicky pomocí vibračních roštů a tryskáním odlitku nebo chemicky ponořením do lázně s žíravou solí. Následuje oddělení odlitků od vtokové soustavy a v případě nutnosti dokončovací operace. Během výroby jsou tedy vzorové modely z vosku i keramická skořepina zničeny [14]. Postup výroby je zobrazen na obr. 1.7.



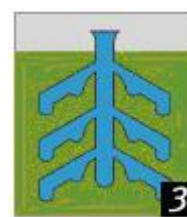
Obr. 1.6 Odlévání kovu do keramických skořepin [16].



Vytvoření modelu



Sestavení stromečku

Namáčení do keramické  
březkyPosypání keramickým  
práškemHotová keramická  
skořepina

Vytavení vosku



Vytvrzení skořepiny v peci



Lití kovu



Odstranění skořepiny

Oddělení jednotlivých  
modelů

Dokončovací operace



Kontrola rozměrů

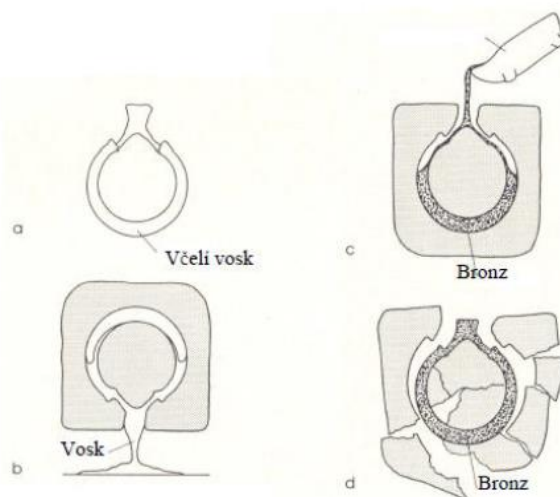
Obr. 1.7 Postup výroby technologií vytavitelného modelu [17].

Technologie přesného lití metodou vytavitelného modelu je jednou z nejstarších metod výroby vůbec. Využíváno jí bylo především pro výrobu uměleckých předmětů (viz obr. 1.8). Vzorové modely vyrobeny ze včelího vosku byly ručně obaleny jílovitou hlinou. Po vypálení formy a vytavení včelího vosku byl vytvořen odlitek. Postup výroby (viz obr. 1.9) je principem shodný s tím dnešním. Odlitky byly zhotoveny nejčastěji z bronzu ale i zlata, stříbra a mědi [14]. První použití této technologie se datuje na zhruba 5-6 tisíc let před naším letopočtem. Technologie byla používána již v Mezopotámii, Egyptě,

Číně a střední Americe (civilizacemi Aztéků a Mayů). Nejstarší text popisující technologii vytavitelného modelu *Schedula Diversarum Atrium* byl napsán kolem roku 1100 našeho letopočtu knězem Theophilem Presbyterem. Značné rozšíření technologie proběhlo v renesanční Itálii počátkem 17. století, postupem vytavitelného modelu zde bylo zhotoveno velké množství soch z kovu. Další rozšíření nastalo v období druhé světové války, kdy byla tato technologie využívána v průmyslu [15].



Obr. 1.8 Zlatý odlitek hřebenu (4. stol. n. l. – oblast Dněpru) [14].



Obr. 1.9 Postup výroby bronzového náramku [14].

Dnes je technologie přesného lití metodou vytavitelného modelu využívána v automobilovém, leteckém, energetickém průmyslu a dalších průmyslových odvětvích, ale stále také při výrobě uměleckých předmětů. Neustálým zdokonalováním technologie se rozšiřuje její využití. Zlepšují se i vlastnosti používaných vosků a skořepin pro odlévání. Na odlitky jsou kladeny vysoké nároky, co se týče rozměrové přesnosti, kvality, schopnosti odlévat slitiny s vysokou teplotou tavení (např. pro použití v leteckém průmyslu) a ceny výroby [15]. Očekává se další růst v užívání technologie přesného lití, hlavně díky poptávce v leteckém a energetickém průmyslu. Pro větší využití v automobilovém průmyslu bude klíčové snížení ceny výroby dosažené automatizací částí výrobního procesu. [18].

## 2 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

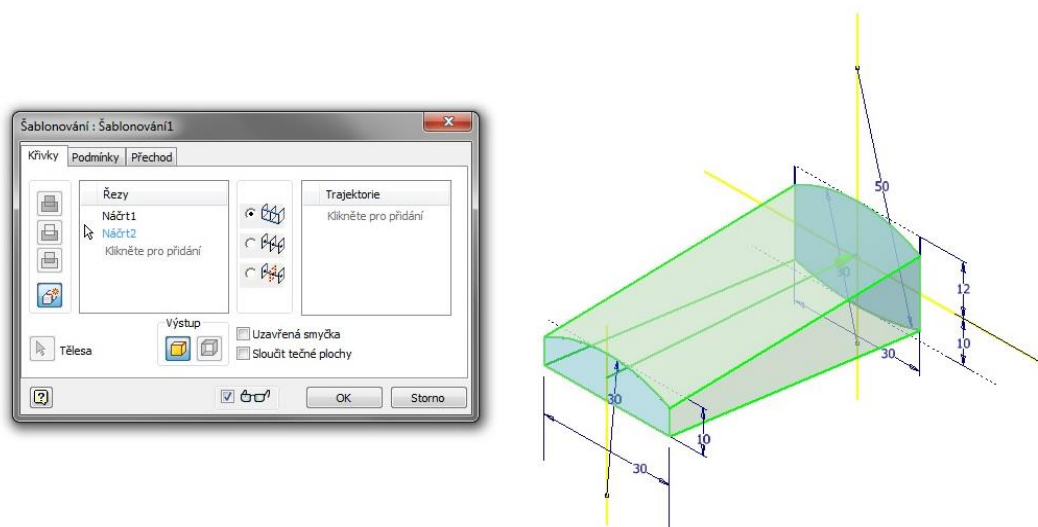
Tato část bakalářské práce se zaměřuje na návrh nástěnného držáku náhlavních sluchátek v programu Autodesk Inventor. Potřebné rozměry byly naměřeny na jednom typu náhlavních sluchátek a to JVC HA-RX300. Rozměry modelu byly však lehce upraveny, aby vyhovovaly většímu množství sluchátek. Dále popisuje výrobu modelu technologií RP metodou Fused Deposition Modeling (dále pouze FDM) a jeho následné využití jako master model pro silikonovou formu. Forma bude sloužit k vytvoření plastových odlitků finálního dílu.

### 2.1 Konstrukce modelu pomocí programu Autodesk Inventor

K návrhu modelu nástěnného držáku náhlavních sluchátek byl využit software společnosti Autodesk Inventor Professional ve verzi pro rok 2016 s kódovým označením Shelby (dále Inventor) [19]. Inventor je nejužívanější 3D CAD program ve strojírenství. Slouží především pro tvorbu digitálních prototypů a jejich výkresové dokumentace, ale obsahuje i moduly pro analýzu a simulaci, vizualizaci, navrhování elektronických obvodů, řízení projektů a správu dokumentů. Výhodou je schopnost Inventoru exportovat 3D model ve formátu STL, se kterým dokáže pracovat software 3D tiskárny [20].

Před zahájením modelování součásti byl vytvořen nový projekt pojmenovaný *BP držák* ve formátu IPJ. Poté byl vytvořen nový model s názvem *BP držák* ve formátu IPT. K vytvoření držáku na sluchátka stačila pouze jedna součást, nebylo tedy potřeba pracovat se sestavou.

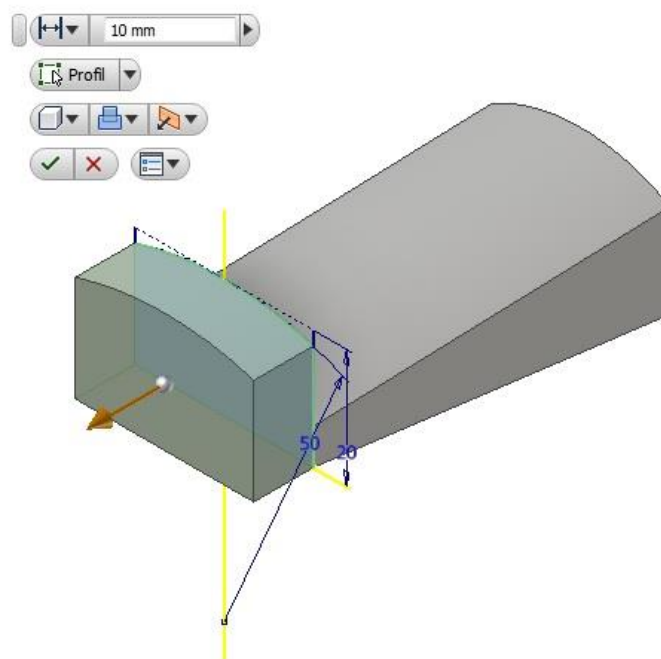
Pro vytvoření držáku bylo nejprve využito příkazu „šablonování“ pomocí dvou náčrtů v rovnoběžných rovinách vzdálených od sebe 60 milimetrů. Šablonováním vzniknul tvar těla součásti široký 30 mm. Tvarem použitým v náčrtech byl obdélník vysoký v prvním náčrtu 10 mm a ve druhém 22 mm. Držák se směrem ke stěně rozšiřuje, sklon na horní ploše prvku je stejný jako na mostu sluchátek, zhruba 2 stupně. Horní plocha je také zakřivená, toho bylo dosaženo použitím oblouku na horní straně obdélníku v obou náčrtech tak, aby kontaktní plocha mezi mostem sluchátek a držákem byla co největší (viz obr. 2.1).



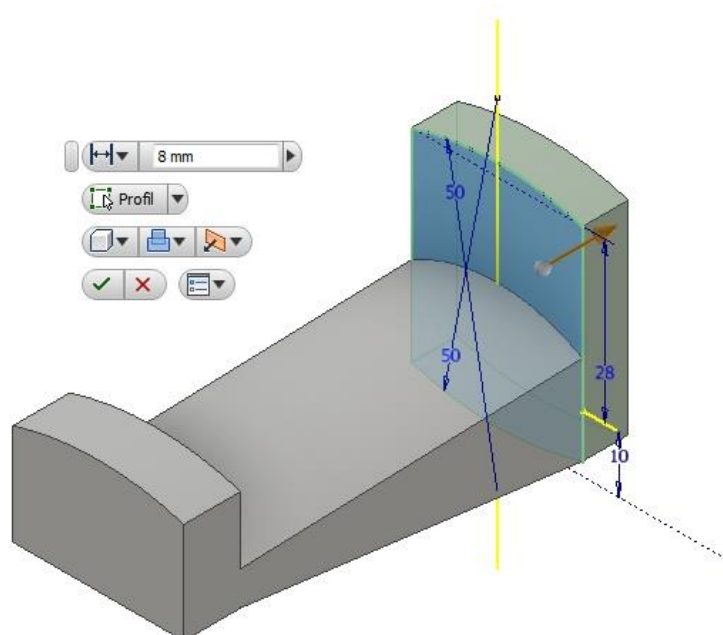
Obr. 2.1 „Šablonování“ těla držáku.



Dalším krokem bylo vytvoření „háčku“ na konci držáku, který zajistí pozici sluchátek, a vytvoření patky pro připevnění držáku ke stěně. Pro vytvoření háčku byl použit příkaz „vysunutí“ v délce 10 mm. Náčrt je stejný jako ten použitý pro šablonování, pouze vysoký 20 mm (viz obr. 2.2). Patka držáku byla také vytvořena pomocí „vysunutí“ o délce 8 mm. Horní část patky byla prodloužena na celkovou výšku patky 38 mm (viz obr. 2.3).

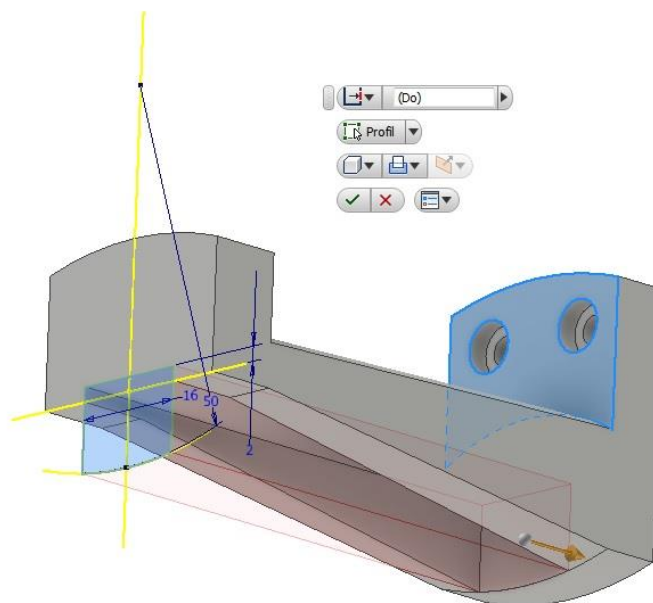


Obr. 2.2 „Vysunutí“ háčku.



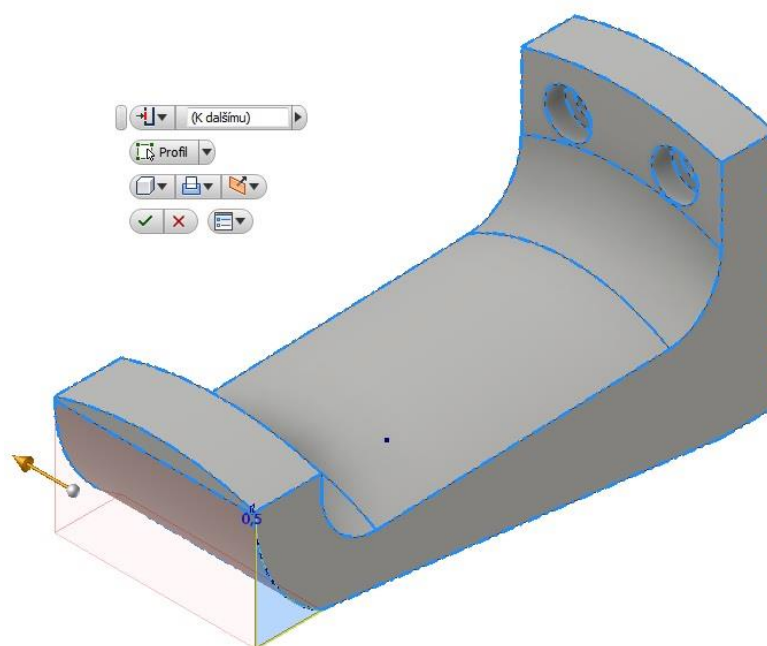
Obr. 2.3 „Vysunutí“ patky.



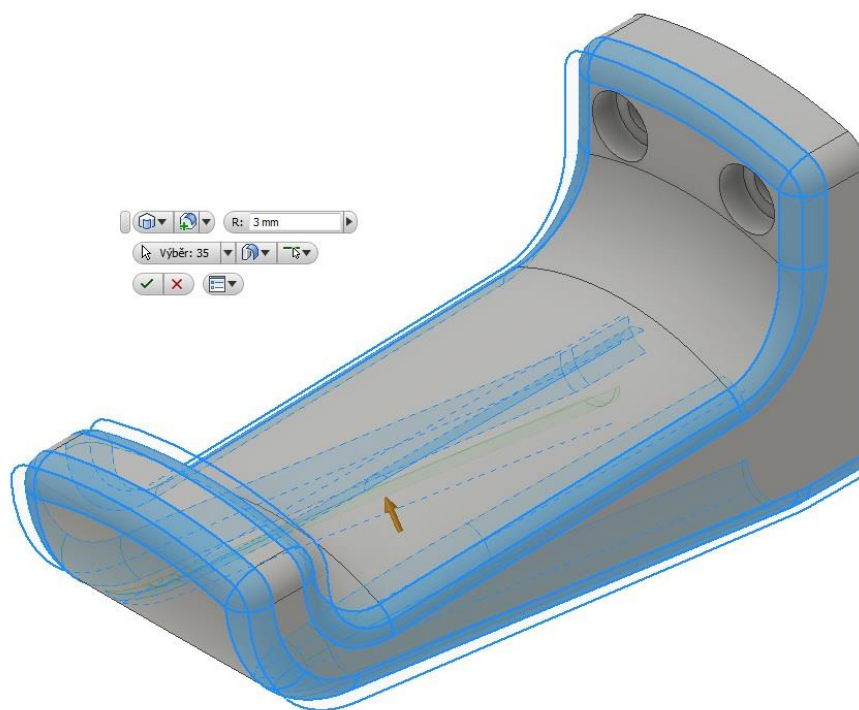


Obr. 2.6 Odlehčení těla držáku.

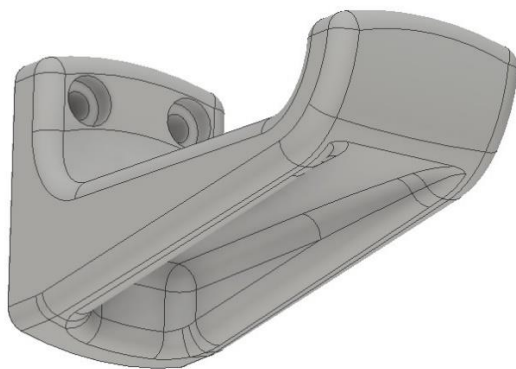
Následovalo vytvoření zaoblení o poloměru 8 mm na horní ploše těla součásti v místech, kde se tělo spojuje s patkou a háčkem. Dále bylo vytvořeno zaoblení háčku v jeho dolní části, použita byla funkce „rozdíl“ příkazu „vysunutí“ (viz obr. 2.7), díky níž bylo vytvořeno estetičtější zaoblení. Díl byl dokončen zaoblením vnějších hran o poloměru 3 mm (viz obr. 2.8). Výsledný model držáku je zobrazen na obr. 2.9 a obr. 2.10.



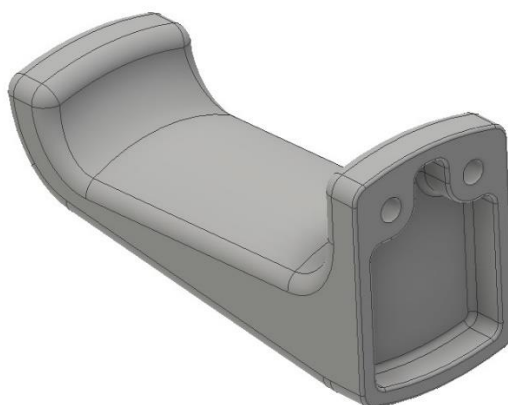
Obr. 2.7 Zaoblení „háčku“.



Obr. 2.8 Zaoblení vnějších hran.



Obr. 2.9 Pohled na odlehčení těla držáku.



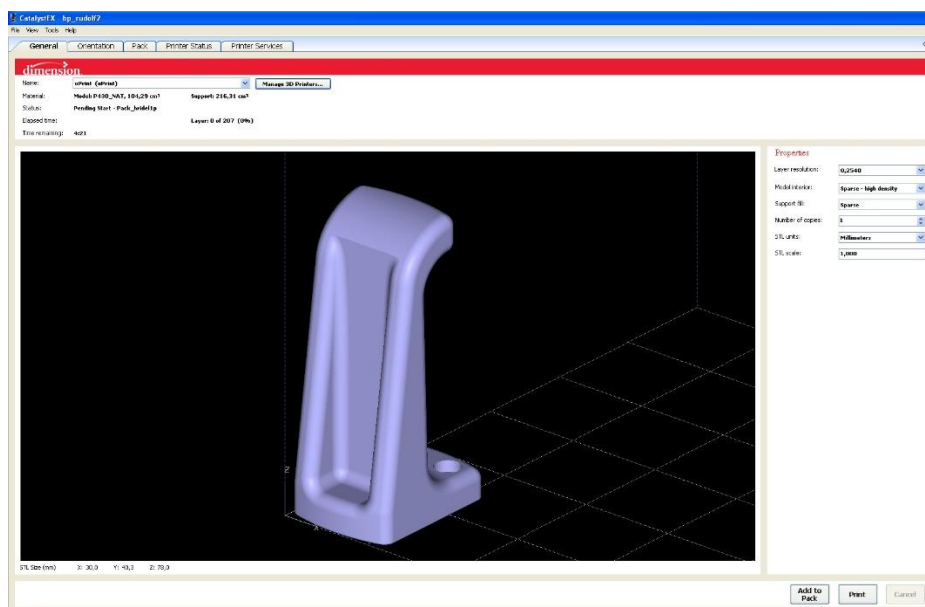
Obr. 2.10 Pohled na odlehčení patky.

## 2.2 Vstupní data pro 3D tisk

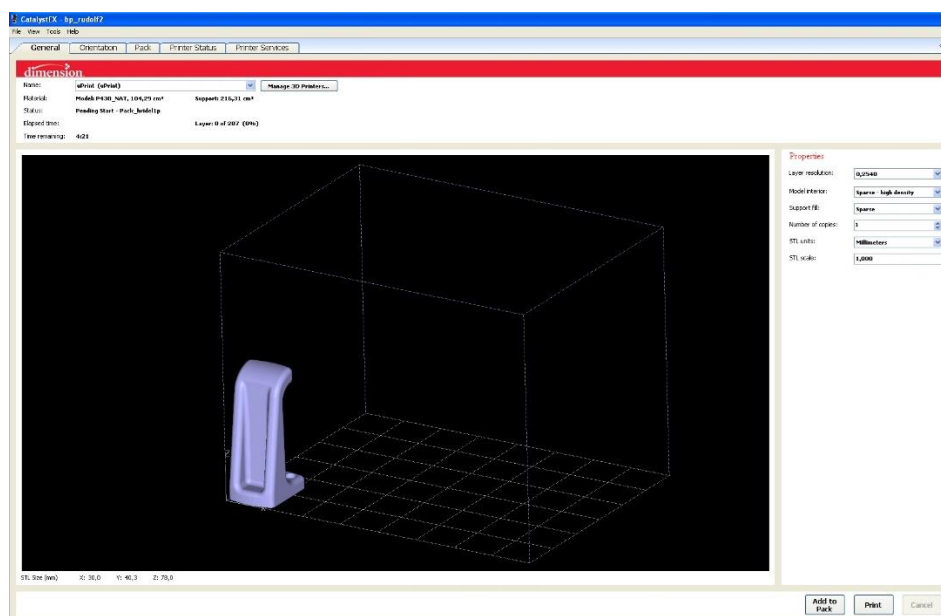
Data potřebná pro tisk byla vytvořena převodem virtuálního modelu z Inventoru, vytvořeného v předchozí kapitole (2.1) do formátu STL. Převod proběhl exportováním modelu z Inventoru. V hlavní nabídce programu byl vybrána nabídka „exportovat“, dále „formát CAD“, v nabídce pro uložení souboru byl zvolen formát STL. Dále bylo třeba v možnostech nastavit výsledný soubor STL. Jednotky byly nastaveny na milimetry a bylo vybráno vysoké rozlišení.

S tímto formátem dokáže pracovat program CatalystEX sloužící pro otevření a další možné úpravy 3D modelu jako například orientaci a umístění modelu na nosné podložce.

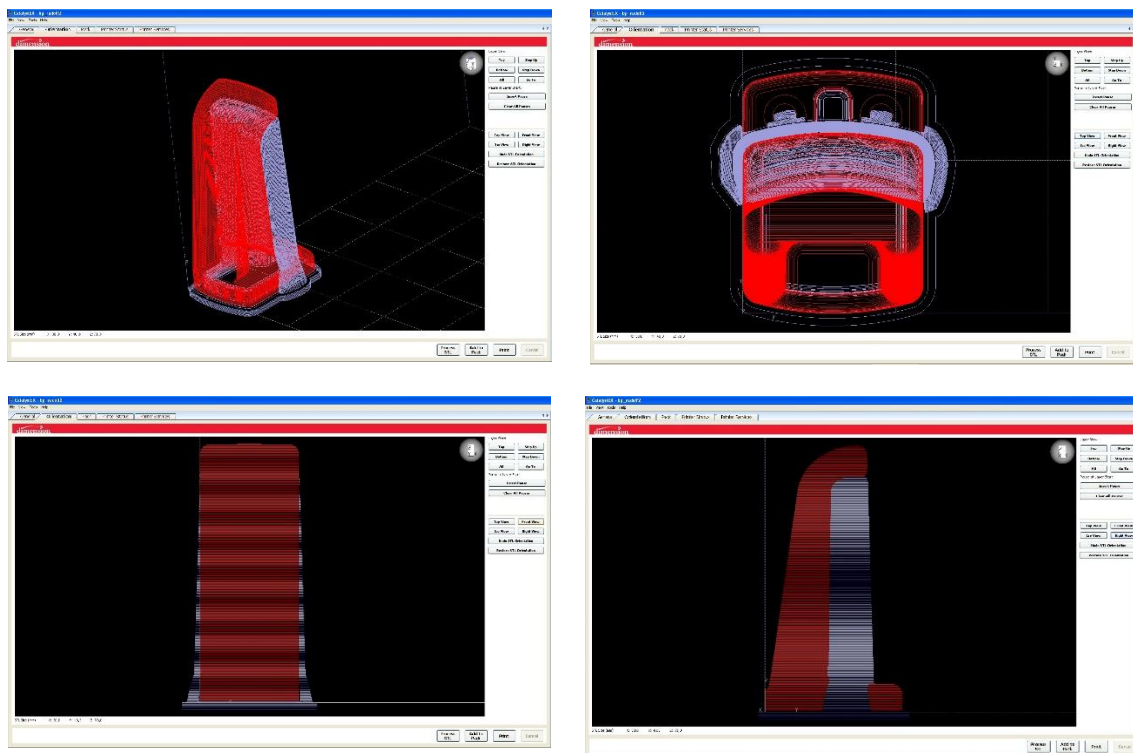
Tento software komunikuje s 3D tiskárnou Dimension uPrint. Ta byla použita pro vytvoření fyzického modelu metodou FDM, která bude podrobněji vysvětlena v následující kapitole (2.3). Model držáku v programu je zobrazen na obr. 2.11 a 2.12. Model i s podpurným materiálem je zobrazen na obr. 2.13. Program CatalystEX také vysílá tiskárně příkaz k tisku [21].



Obr. 2.11 Model držáku v programu CatalystEX.



Obr. 2.12 Umístění držáku v pracovním prostoru.



Obr. 2.13 Zobrazení modelu s podpurným materiálem.

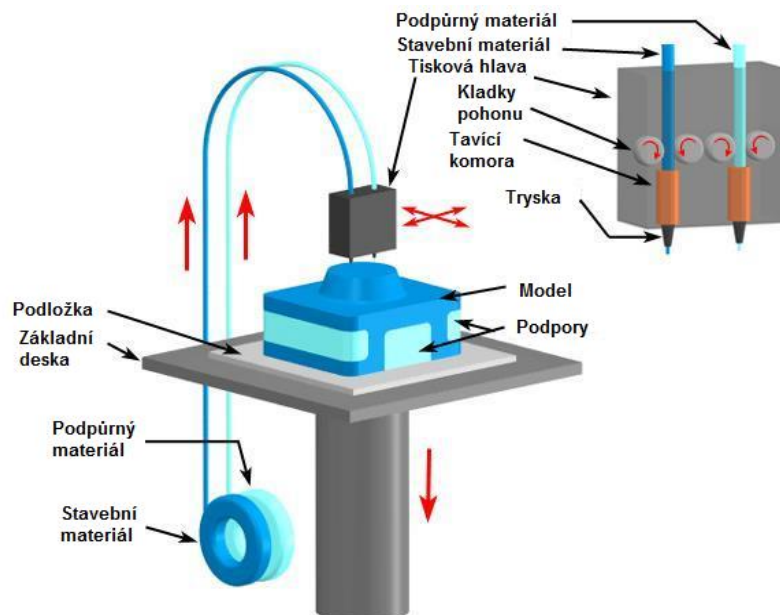
### 2.3 Uplatnění metody Fused Deposition Modeling

Tato aditivní metoda technologie Rapid Prototyping využívá k výrobě dílů termoplastického materiálu, který je nataven a nanášen postupně ve vrstvách na nosnou desku. Materiál v podobě drátu je soustavou kladek přiváděn do trysky, v níž dochází k jeho natavení. Materiál dosáhne v trysce teploty o 1 °C vyšší než je jeho teplota tavení. Díky tomu dochází ke spojení vláken materiálu s předchozí vrstvou materiálu. Po nanesení materiál okamžitě tuhne. Používá se nejčastěji dvou trysek, kdy jedna přivádí drát stavebního materiálu a druhá materiál podpory. Princip metody FDM je znázorněn na obr. 2.14. Podpory jsou po vytisknutí odstraněny mechanicky nebo v chemické lázni ultrazvukové čističky. Součásti jsou vyráběny z materiálu ABS, ABS Plus, polykarbonátu, vosku, elastomeru atd. Vlastnosti tisku jako je typ zařízení, tloušťka vrstev materiálu, typ podpor, způsob vyplnění objemu modelu, měřítko tisku a orientace součásti v pracovním prostoru lze dle potřeb měnit [1].

Součástky jsou softwarem tiskárny rozloženy na tenké řezy o konstantní tloušťce. Stavební i podpurný materiál je nanášen současně v jednotlivých vrstvách. Tryska nanášející materiál se pohybuje ve směrech os X a Y při tvorbě 2D kontury. Ve směru osy Z se posune o tloušťku vrstvy, vždy před započítím nanášení vrstvy další. Nanášením vrstev na sebe dojde k vytvoření požadované součásti. Metoda FDM má minimální množství odpadu, kterým je pouze podpurný materiál. Tuto technologii lze použít i v běžném kancelářském prostředí protože není hlučná, nepracuje se toxickým materiálem a se zařízeními citlivými na laserové snímání [2]. Součásti vyrobené touto metodou mají podobné vlastnosti jako finální výrobek. Mají dobré mechanické vlastnosti a mohou tedy být vystaveny zatížení odpovídajícímu realitě [1]. Lze je tedy užít jako vzorky pro zátěžové zkoušky a pro



ověřování funkčnosti. Další výhodou je jejich vysoká tepelná odolnost. Nevýhodou technologie je delší čas stavby součásti a často nutná následná povrchová úprava součásti. Pro výrobu většího množství kusů je vhodnější využít jiné technologie (pokud je dostupná) [22].



Obr. 2.14 Princip metody FDM [23].

## 2.4 Charakteristika 3D tiskárny Dimension uPrint

Tiskárna Dimension uPrint (viz obr. 2.15) je schopna zhotovit pomocí přímého tisku přesné fyzické 3D modely. Modelovacím materiálem používaným tiskárnou je upravený termoplast akrylonitril butadien styren (dále ABS Plus). Díky němu jsou modely pevné, rozměrově stabilní a tepelně odolné (až do 96 °C). Díky těmto vlastnostem jsou modely vytvořené tiskárnou využívány jako vzorky a prototypy v mnoha odvětvích průmyslu.



Obr. 2.15 3D tiskárna Dimension uPrint [24].

Tiskárna využívá pro výrobu 3D modelů plast ABS Plus. Tloušťka vrstvy tištěné součásti je 0,254 mm. Tiskárna nabízí možnost vyplnění objemu součástky mřížkou (v režimu „Sparse“), čímž ušetří až 80% materiálu při zachování pevnosti fyzického 3D modelu. Uspoří to také čas potřebný pro tisk součásti. Tiskárna používá také podpůrného materiálu, rozpustného v chemické lázni. Velikost vytisknuté součásti je limitována rozměry pracovního prostoru tiskárny 203 x 152 x 152 mm. Je však možné díly rozdělit na několik částí a spojit je lepením, s tím je však spojena nižší pevnosti modelu. Tiskárna Dimension uPrint je velice jednoduchá na obsluhu, lze ji napájet z běžné sítě (230 V/50 Hz), její provoz je automatický a lze provozovat i v kancelářských prostorech [25].

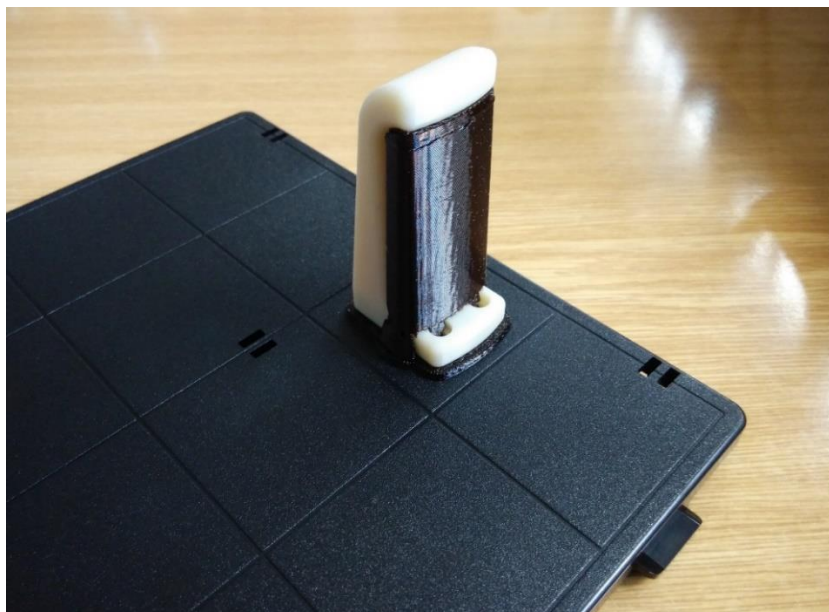
## 2.5 Tisk modelu držáku

Pro tisk modelu byla použita 3D tiskárna Dimension uPrint (popsána v kapitole 2.4), užívající technologie FDM (popsána v kapitole 2.3) k tvorbě fyzických modelů. Informace o tisku z programu CatalystEX jsou uvedeny v tabulce 2.1. Model byl zhotoven z materiálu ABS Plus, jehož mechanické vlastnosti jsou popsány v tabulce 2.2. Vytisknutý model držáku je zobrazen na obr. 2.16 a 2.17.



Obr. 2.16 Vytisknutý model na podložce.





Obr. 2.17 Detail vytisknutého modelu.

Tab. 2.1 Informace o tisku

Doba tisku [hod]	2:59
Spotřeba stavebního materiálu [cm <sup>3</sup> ]	29,367
Spotřeba podpůrného materiálu [cm <sup>3</sup> ]	7,739
Celková spotřeba materiálu [cm <sup>3</sup> ]	37,106
Cena tisku modelu [Kč]	534,38

Tab. 2.2 Mechanické vlastnosti ABS Plus [26]

Pevnost v tahu [MPa]	33	
Modul pružnosti v tahu [MPa]	2,2	
Prodloužení v lomu [%]	6	
Pevnost v ohybu [MPa]	Osa XZ	58
	Osa ZX	35
Modul pružnosti v ohybu [MPa]	Osa XZ	2,1
	Osa ZX	1,65

## 2.6 Příprava modelu pro výrobu silikonové formy

Master model bylo po tisku nutné oddělit od podložky, na které se model tiskl. Oddělení bylo provedeno opatrně mechanicky. Poté bylo možné z modelu odstranit materiál podpor. To lze provést mechanicky odlamováním, ale v tom případě hrozí při neopatrném zacházení poškození modelu. Navíc tímto způsobem často nelze odstranit veškerý podpůrný materiál. Z tohoto důvodu se používají pro odstranění podpor ultrazvukové čističky. Byla použita čistička Ultrasonic Cleaner (viz obr. 2.18). V níž je chemický roztok, který rozpouští materiál podpor. Rozpouštění podpor lze urychlit změnou teploty nebo odlamováním podpor, které sníží množství podpůrného materiálu, který je nutné rozpustit.



Obr. 2.18 Ultrazvuková čistička.

Model zbavený podpor bylo zapotřebí dále upravit před použitím pro výrobu silikonové formy. Na povrchu modelu byly patrné jednotlivé vrstvy stavebního materiálu. Silikon je schopen přenášet i nepatrné detaily, proto bylo nutné povrch modelu dostatečně zkvalitnit. Toho bylo dosaženo tmelením a broušením. Před nanesením tmelu byl model zbaven veškerých nečistot. K tmelení byl použit plnič Prisma Color ve spreji. Tmel byl na model nastříkán ve vzdálenosti 25 – 30 cm podle pokynů výrobce. Nanesen byl v několika vrstvách tak, aby dokonale zakryl celý povrch master modelu. Vždy po nanesení nové vrstvy se plnič nechal dostatečně zaschnout. Výrobce uvádí 10 minut jako dostatečnou dobu pro zaschnutí tmelu. V některých místech se však tmel nahromadil a bylo tedy nutné nechat tmel schnout delší dobu, pro jistotu i několik hodin. Následně by master model broušen pod vodou (neboli mokré broušení). Model byl při broušení neustále namáčen, aby byla na jeho povrchu neustále vrstva vody. Brusný papír se tak nezanášel prachem z broušení, tím bylo dosaženo jemnějšího povrchu modelu. Pro broušení nahrubo byl použit brusný papír P-280, pro broušení najemno byl zvolen brusný papír P-600. Na obtížně dostupná místa byly použité jehlové pilníky. Broušení se několikrát opakovalo, dokud nebyl model dostatečně hladký pro výrobu silikonové formy.

## 2.7 Popis výroby silikonové formy

Před zhotovením silikonové formy bylo třeba vhodně umístit dělicí rovinu a vtokovou soustavu tak, aby bylo možné master model vyjmout bez poškození formy. Následně byl zhotoven rám kolem master modelu, s přídavkem zhruba 1 cm na každé straně pro vyšší pevnost silikonové formy. Rám byl vytvořen ze skleněných tabulek postavených na skleněné desce a přilepených k sobě pomocí tavné pistole (viz obr. 2.19).



Obr. 2 19 Rám ze skleněných desek.

Forma byla zhotovena ze dvou částí. První polovina formy byla vytvořena tak, že se dno rámu vyložilo modelovací hmotou. Na tu se umístil master model, který byl následně zakryt modelovací hmotou do výšky dělicí roviny. Z modelovací hmoty byla vytvořena i vtoková soustava. V modelovací hmotě byly zhotoveny díry, které slouží pro přesnější vzájemné umístění obou polovin formy. Následně bylo přibližně určeno množství silikonového kaučuku potřebného k zhotovení první poloviny formy. To bylo stanoveno na 200 g směsi silikonu. Byl použit dvousložkový silikonový kaučuk Silastic T-4 společnosti Ebalta. Ten se skládá ze základní hmoty a tužidla, složky byly smíchány v poměru 10:1. Po promíchání byl silikonový kaučuk zbaven vzduchových bublin vakuováním (viz obr. 2.20). Vzduchové bubliny by mohly zapříčinit vady na povrchu odlitku. K tomuto účelu bylo použito vakuové licí zařízení MK Mini (viz obr. 2.21). Během vakuování bublinky vzduchu vystupovaly na hladinu silikonové směsi a směs během tohoto procesu značně zvětšila svůj objem. Když směs začne svůj objem opět zmenšovat, znamená to, že je připravena pro použití. Pro snadnější oddělení silikonové formy byly stěny skleněného rámu a povrch master model natřeny separačním prostředkem Trennmittel T1-1 společnosti Ebalta. Poté byla silikonová směs nalita do rámu s master modelem. Silikonová směs následně tuhla za pokojové teploty dalších 24 hodin (výrobce udává jako dostatečnou dobu 8 hodin). Vytvrzená první polovina silikonové formy je zobrazena na obr. 2.22 [27].

Silikonová forma byla poté vyjmuta z rámu a očištěna společně s master modelem od zbytků modelovací hmoty. Druhá polovina silikonové formy byla vytvořena pomocí první poloviny formy, nebylo tedy třeba využít modelovací hmoty. Postup výroby byl shodný jako v případě výroby první poloviny formy, i množství směsi silikonu bylo shodné.

Po vytvrzení byly od sebe obě poloviny formy odděleny. I přestože byl použit separátor, pro usnadnění oddělování bylo nutné použít nožík k naříznutí silikonu v oblasti dělící roviny. Následně byl opatrně vyjmut master model. Nožem byla vyříznuta vtoková soustava a obě části formy byly opět vyčištěny.



Obr. 2.20 Vakuové licí zařízení MK Mini.



Obr. 2.21 Vakuování silikonu.

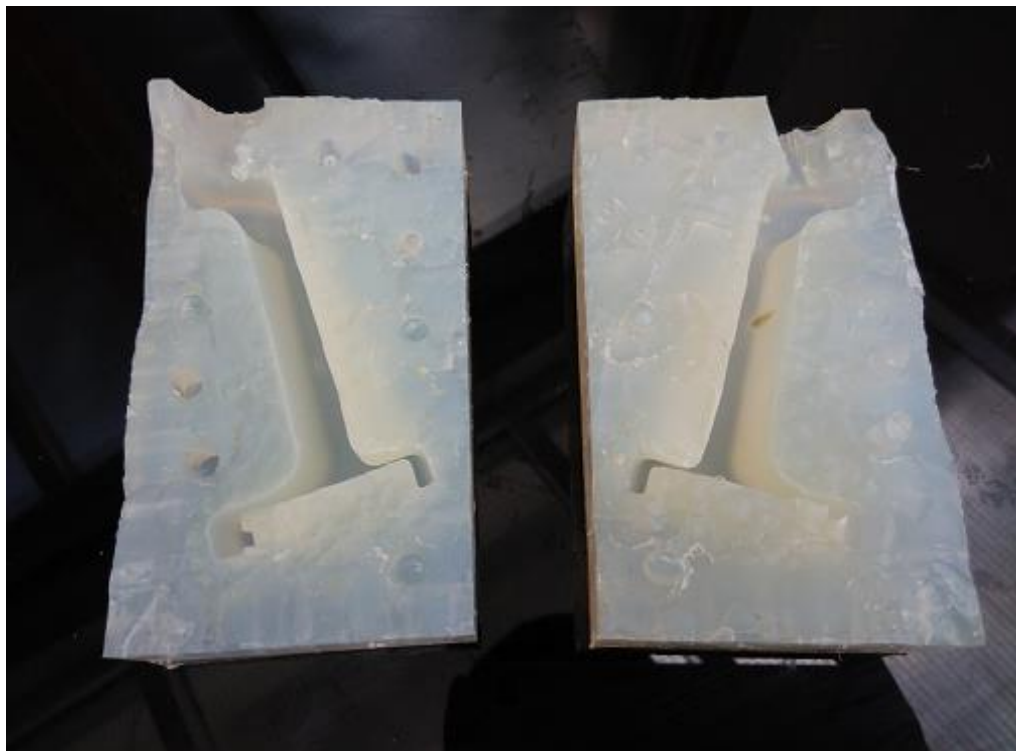


Obr. 2.22 První polovina silikonové formy.

Nyní byla forma připravená k zhotovení modelů z vosku a pryskyřice (viz obr. 2.23). Životnost silikonové formy bude vzhledem k členitosti odlévaného dílu zhruba 40 cyklů. Během odlévání formy vznikaly vzduchové bubliny, většina však před vytvrzením silikonové směsi stihla vystoupat k hladině a nezpůsobila vadu na povrchu součástí. Několik



bublin přesto zůstalo na povrchu dutiny formy. Vady, které tímto vznikly, byly snadno odstraněny broušením.



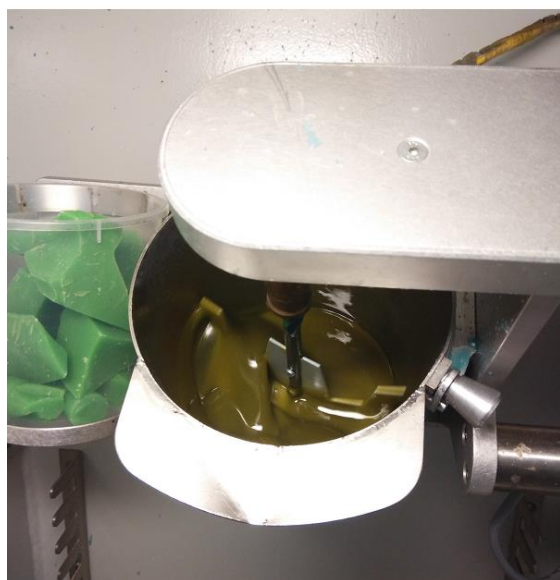
Obr. 2.23 Silikonová forma.

## 2.8 Výroba odlitků z vosku

První byl vytvořen model z vosku pro kontrolu přesnosti silikonové formy. Obě poloviny formy byly před odléváním pevně spojeny pomocí sešíváčky. Byl použit granulovaný vosk A7-FR/1200 firmy Blayson. Jeho parametry jsou zobrazeny v tab. 2.3. K rozpuštění vosku byl použit topný kelímek (anglicky „hot cup“) vakuového lícího zařízení MK Mini (viz obr. 2.24). Množství voskového granulátu potřebného k vytvoření odlitku bylo stanoveno podle změření váhy. Změřena byla váha master modelu, k níž byl připočten přídavek pro vtokovou soustavu a materiál, který přilne ke stěnám a dnu topného kelímku. Vosk byl odlitý gravitačně bez vakuování. Forma byla před odlitím vosku předehřáta na teplotu 100 °C. Po vytvrzení vosku ve formě trvající zhruba 8 hodin byl model opatrně vyjmut. Během vyjímání voskového modelu nedošlo k jeho poškození. V opačném případě by bylo třeba formu rozdělit na více částí [28].

Po prvním odlití proběhla kontrola výsledku. Zalita voskem byla i jedna z děr sloužících k připevnění držáku na stěnu, což může být způsobeno nedostatečným zatečením silikonové směsi nebo poškozením formy při vyjímání modelu. Na odlité součásti je patrné, že vosk zatekl do všech míst formy. Na povrchu odlitku došlo ke vzniku několika pórů, které byly způsobené nedostatečným odvzdušněním formy. Z tohoto důvodu byly v kritických místech formy zhotoveny odvzdušňovací otvory. V místech, kde na povrchu silikonové formy zůstaly bublinky vzduchu, vznikly vady. V případě další produkce by se těmto vadám dalo předcházet vhodnějším designem držáku. Samotný odlitý model obsahoval velké

množství vzduchových bublin. To bylo způsobeno tím, že odlití vosku nebylo provedeno za vakua (viz obr. 2.25).



Obr. 2.24 Rozpuštěný vosk v topném kelímku.



Obr. 2.25 První voskový odlitek.

Tab. 2.3 Vlastnosti vosku A7-FR/1200

Vlastnost	Specifikace
Obsah popela [%] Max	0,05
Bod tuhnutí [°C]	62-69
Bod skápnutí [°C]	70-75
Obsah plniva [%]	30-32
Typ plniva	Neutrální
Volné lineární smrštění [%]	0,6 - 0,9
Penetrace [0,1mm]	9-12
Měrná tepelná kapacita [KJ/kg.K]	3,4
Viskozita [Pa/s]	1.4 – 2.2
Obsah vody [%]	0

Při druhém odlévání voskového modelu byl použit stejný vosk jako v prvním případě. Forma byla opět předehřata na teplotu 100 °C. K roztavení vosku taktéž sloužil topný kelímek. Předehřátá forma byla poté vložena do vakuového licího zařízení a následně bylo zahájeno vakuování komory. Po dostatečném snížení tlaku byl vosk nalit do formy (viz obr. 2.26). Po odlití byl vosk vytvrzován při nižší teplotě v lednici. Tím byl rapidně snížen čas potřebný k vytvrzení vosku na zhruba 2 hodiny. Výsledný odlitek byl opatrně vyjmut z formy. Jeho povrch už je o poznání kvalitnější než povrch prvního odlitku (viz obr. 2.27). Druhý odlitek by již bylo možné použít pro výrobu držáku metodou vytavitelného modelu např. z hliníkové slitiny.



Obr. 2.26 Lití vosku za vakua.



Obr. 2.27 Druhý odlitý model.

## 2.9 Výroba odlitků z pryskyřice

Po ověření funkčnosti a přesnosti formy voskovými odlitky následovalo zhotovení modelu z pryskyřice. Model je zhotoven z dvousložkové pryskyřice Ebalta SG 2000. Složka A je pryskyřice a složka B je tužidlo. Množství pryskyřice potřebné pro vytvoření odlitku bylo stanoveno změřením hmotnosti původního modelu vyrobeného metodou FDM a k této hodnotě byl připočten přírůstek na vtokovou soustavu. Hodnota byla stanovena na 35g pryskyřice. Složky A a B byly smíchány v poměru 1:1. Při jejich smíchání proběhla exotermická reakce, která směs ohřála na teplotu zhruba 60 °C. Doba zpracování pryskyřice je pouze několik minut. Směs tedy byla odlita do formy téměř okamžitě po smíchání obou složek. Vytvrzení pryskyřice se pohybovalo v rozmezí půl a jedné hodiny. Poté byla forma otevřena a odlitá součástka opatrně vyjmuta [29].

Množství vad na odlitku bylo daleko nižší než při lití vosku díky lepší zabíhavosti pryskyřice. Vady modelu omezující jeho funkčnost byly odstraněny následnou úpravou.

Pomocí ruční vrtačky byla provrtána díra pro šroub a pomocí brusky byla odstraněna vtoková soustava. Následně byl povrch držáku broušen za mokra pomocí brusného papíru P-600. Upravený a očištěný model je zobrazen na obr. 2.28. Pro vyšší estetičnost bude model opatřen barevným nástřikem. Byl zvolen matný černý sprej Tech Aerosol se zvýšenou přilnavostí na plastové povrchy. Barva byla nanesena v několika vrstvách. Mezi jednotlivými vrstvami bylo ponecháno 20 minut pro zaschnutí barvy. Nabarvený držák sluchátek je zobrazen na obr. 2.29.



Obr. 2.28 Upravený model před barvením.



Obr. 2.29 Nabarvený držák sluchátek.



### 3 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

V této části práce budou srovnány obě metody použité k výrobě držáku pro náhlavní sluchátka, metoda Fused Depositing Modeling a odlévání za použití formy ze silikonového kaučuku. Budou zhodnoceny vzhledem k nákladům na výrobu určitého množství držáků a technologičnosti jejich výroby.

#### 3.1 Náklady na 3D tisk pomocí metody FDM

Náklady na vytisknutí součástky se skládají pouze z materiálu spotřebovaného k výrobě držku. Byly použity dva různé materiály, prvním je ABS Plus ze kterého je vytvořen samotný držák, a druhým je materiál podpor. Náklady na 1 cm<sup>3</sup> obou materiálů jsou shodné, jejich hodnota je stanovena na 14,4 Kč/cm<sup>3</sup>. Objem materiálu potřebného k vytisknutí je vypočten programem CatalystEX. Objem spotřebovaného základního materiálu činí 29,367 cm<sup>3</sup> a objem materiálu podpor je 7,739 cm<sup>3</sup>. Celkově tedy bylo 3D tiskárnou spotřebováno 37,106 cm<sup>3</sup> materiálu. Náklady na výrobu master modelu držáku metodou FDM jsou vypočteny podle vztahu (3.1).

$$N_T = N_M \cdot V_C \quad (3.1)$$

Kde:  $N_T$  [Kč] - Náklady na 3D tisk

$N_M$  [Kč] - Náklady na 1 cm<sup>3</sup> materiálu

$V_C$  [cm<sup>3</sup>] - Celkový objem spotřebovaného materiálu

$$N_T = 37,11 \cdot 14,4$$

$$N_T = 534,38 \text{ Kč}$$

#### 3.2 Náklady na výrobu silikonové formy

K vytvoření držáku za použití formy ze silikonového kaučuku je třeba více úkonů než při výrobě pomocí 3D tiskárny. Počáteční náklady na zhotovení modelu pomocí silikonové formy jsou větší kvůli potřebě zhotovení master modelu 3D tiskem, nákladům na úpravu povrchu modelu, na výrobu silikonové formy a na materiál, ze kterého jsou zhotoveny samotné odlitky a náklady na jejich úpravu. Hlavní výhodou silikonové formy je schopnost výroby více než jednoho modelu. V tomto případě vzhledem k složitosti formy je životnost odhadována na 30 kusů.

Náklady potřebné pro tisk modelu metodou FDM jsou vypočítány v předchozí kapitole (3.1).

$$N_T = 534,38 \text{ Kč}$$

Kde:  $N_T$  [Kč] - Náklady na 3D tisk

K úpravě povrchu modelu byl použit plnič ve spreji Prisma Color a dva brusné papíry (P-280 a P-600). Plnič by odhadem měl stačit na upravení 20 modelů. Cena 400 ml balení plniče ve spreji je 149 Kč. Od každého druhu brusného papíru byla použita zhruba jedna třetina velikosti archu. Pro zjištění nákladů na úpravu modelů byl tedy použit následující vztah (3.2).

$$N_{\dot{U}} = \frac{1}{20} \cdot N_P + \frac{1}{3} \cdot N_B \quad (3.2)$$

Kde:  $N_{\dot{U}}$  [Kč] - Náklady na úpravu master modelu

$N_P$  [Kč] - Náklady na použitý plnič

$N_{BP}$  [Kč] - Náklady na brusný papír

$$N_{\dot{U}} = \frac{1}{20} \cdot 149 + \frac{1}{3} \cdot 18$$

$$N_{\dot{U}} = 13,45 \text{ Kč}$$

Pro výrobu silikonové formy byl použit dvousložkový silikonový kaučuk Silastic T-4. Silikon je dodáván v 5 kg balení, jehož součástí je i tvrdidlo. Náklady na pořízení balení jsou 4 552 Kč, tedy 828 Kč na 1 kg směsi. Na spodní polovinu i horní polovinu formy bylo spotřebováno stejné množství směsi, a to 0,2 kg. Náklady zahrnují pouze materiál na výrobu formy. Vypočteny jsou podle vztahu (3.3).

$$N_{SC} = N_{SM} \cdot (M_{SS} + M_{SH}) \quad (3.3)$$

Kde:  $N_{SC}$  [Kč] - Náklady na silikonovou formu

$N_{SM}$  [Kč] - Náklady na 1 kg silikonu

$M_{SS}$  [Kg] - Hmotnost spodní poloviny formy

$M_{SH}$  [Kg] - Hmotnost horní poloviny formy

$$N_{SC} = 828 \cdot (0,2 + 0,2)$$

$$N_{SC} = 331,2 \text{ Kč}$$

Pro výrobu odlitků byla zvolena dvousložková pryskyřice SG 2000 společnosti Ebalta. Balení obsahuje dvě složky (A+B), každé o hmotnosti 1 kg. Cena balení pryskyřice je 474 Kč, tedy 237 Kč na 1 kg směsi. Náklady potřebné k zhotovení jednoho odlitku jsou stanoveny podle vztahu (3.4).

$$N_{PC} = N_P \cdot M_P \quad (3.4)$$

Kde:  $N_{PC}$  [Kč] - Náklady na pryskyřicový model

$N_P$  [Kč] - Náklady na 1 kg pryskyřice SG 2000

$M_P$  [Kg] - Hmotnost pryskyřice spotřebované na výrobu jednoho odlitku

$$N_{PC} = 237 \cdot 0,035$$

$$N_{PC} = 8,3 \text{ Kč}$$

K finálním úpravám držáku byl použit brusný papír P-600 a černá matná barva ve spreji od společnosti Tech Aerosol. Barva by měla stačit na obarvení 20 modelů. Cena spreje o objemu 400 ml je 195 Kč. Brusného papíru byla použita zhruba čtvrtina archu. Pro spočítání nákladů na finální úpravy držáku byl použit vztah (3.5)

$$N_{FÚ} = \frac{1}{20} \cdot N_B + \frac{1}{4} \cdot N_{BP} \quad (3.5)$$

Kde:  $N_{FÚ}$  [Kč] - Náklady na finální úpravu držáku

$N_B$  [Kč] - Náklady na použitou barvu

$N_{BP}$  [Kč] - Náklady na brusný papír

$$N_{FÚ} = \frac{1}{20} \cdot 195 + \frac{1}{4} \cdot 18$$

$$N_{FÚ} = 14,25 \text{ Kč}$$

Celkové náklady na výrobu držáku sluchátek za použití silikonové formy jsou potom stanoveny podle vztahu (3.5).

$$N_S = N_T + N_Ú + N_{SC} + N_{PC} + N_{FÚ} \quad (3.6)$$

Kde:  $N_C$  [Kč] - Náklady na výrobu držáku

$N_T$  [Kč] - Náklady na 3D tisk

$N_Ú$  [Kč] - Náklady na úpravu master modelu

$N_{SC}$  [Kč] - Náklady na silikonovou formu

$N_{PC}$  [Kč] - Náklady na pryskyřicový model

$N_{FÚ}$  [Kč] - Náklady na finální úpravu držáku

$$N_S = 534,38 + 13,45 + 331,2 + 8,3 + 14,25$$

$$N_S = 901,58 \text{ Kč}$$

### 3.3 Srovnání nákladů na výrobu metodu FDM a odlévání

Při 3D tisku metodou FDM jsou náklady za každý další model vždy navýšeny o náklady na výrobu prvního vytištěného modelu. Při výrobě držáku za pomoci formy ze silikonového kaučuku jsou vyšší pouze počáteční náklady na výrobu jednoho modelu. Díky možnosti formu opakovaně použít se pro výrobu dalších dílů k nákladům připočítá pouze cena spotřebované pryskyřice SG 2000. Pro porovnání se srovnává výroba série 10 kusů držáku na sluchátka. Náklady na vyrobení 10 kusů pomocí metody FDM jsou stanoveny podle vztahu (3.6). Náklady na vyrobení 10 kusů pomocí odlévání do silikonové formy jsou stanoveny podle vztahu (3.7).

$$N_{FDM} = n \cdot N_T \quad (3.7)$$

Kde:  $N_{FDM}$  [Kč] - Celkové náklady na 3D tisk

$n$  [Ks] - Počet vyráběných kusů

$N_T$  [cm<sup>3</sup>] - Náklady na 3D tisk

$$N_{FDM} = 10 \cdot 534,38$$

$$N_{FDM} = 5343,8 \text{ Kč}$$

$$N_S = N_T + N_{\dot{U}} + N_{SC} + n \cdot N_{PC} + n \cdot N_{F\dot{U}} \quad (3.8)$$

Kde:  $N_S$  [Kč] - Náklady na výrobu držáku odléváním

$N_T$  [Kč] - Náklady na 3D tisk

$N_{\dot{U}}$  [Kč] - Náklady na úpravu master modelu

$N_{SC}$  [Kč] - Náklady na silikonovou formu

$n$  [Ks] - Počet vyráběných kusů

$N_{PC}$  [Kč] - Náklady na pryskyřicový model

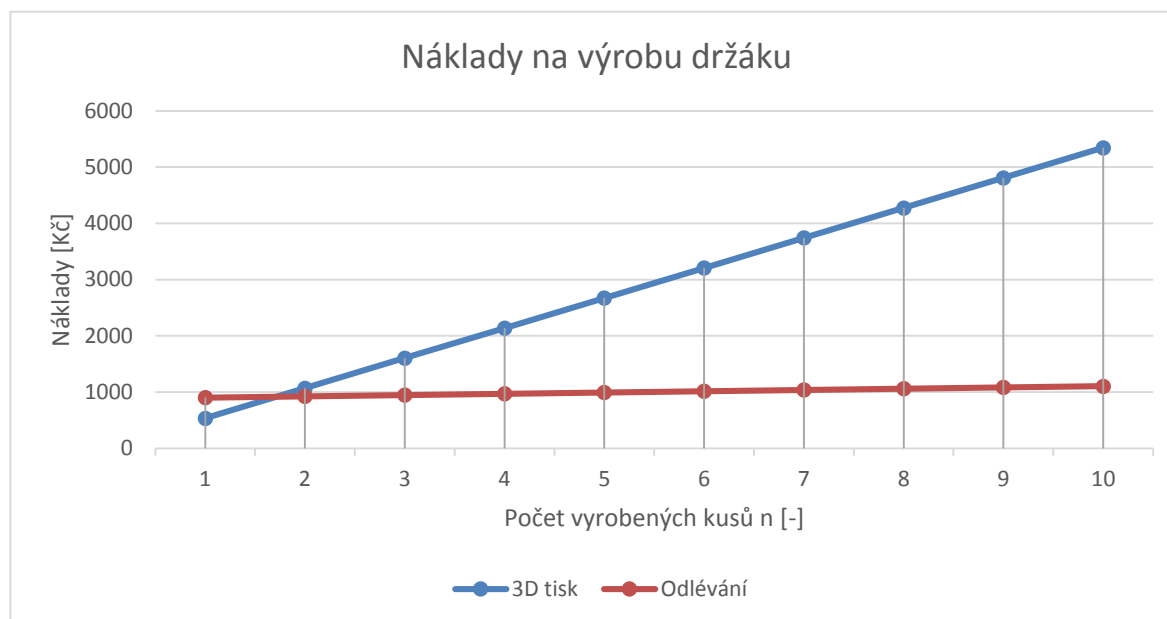
$$N_S = 534,38 + 13,45 + 331,2 + 10 \cdot 8,3 + 10 \cdot 14,25$$

$$N_S = 1104,53 \text{ Kč}$$

Při srovnání výsledků je patrné, že vzhledem k nákladům je výhodnější použít odlévání do silikonové formy k výrobě většího počtu modelů. Náklady pro ostatní počty kusů jsou zobrazeny v tab. 3.1 a v grafu na obr. 3.1.

Tab. 3.1 Náklady na výrobu 10 kusů

Počet kusů [n]	Celkové náklady na 3D tisk [Kč]	Náklady na výrobu držáku odléváním [Kč]
1	534,38	901,58
2	1068,76	924,13
3	1603,14	946,68
4	2137,52	969,23
5	2671,9	991,78
6	3206,28	1014,33
7	3740,66	1036,88
8	4275,04	1059,43
9	4809,42	1081,98
10	5343,8	1104,53



Obr. 3.1 Graf nákladů na výrobu držáku.

Při výrobě držáku náhlavních sluchátek 3D tiskem na principu metody FDM náklady rostou lineárně. Nárůst výrobních nákladů se zvýší vždy o cenu prvního vyrobeného modelu, tedy o 534,38 Kč. Při výrobě odléváním do silikonové formy náklady k výrobě více modelů rostou pouze o náklady na spotřebovanou pryskyřici. K částce 887,33 Kč za zhotovení prvního modelu je tedy s každým dalším modelem přidáno 8,3 Kč. Při výrobě pouze jednoho kusu je vzhledem k nákladům 534,38 Kč pro tisk a 887,33 Kč pro odlévání výhodnější využití 3D tisku metodou FDM. Při výrobě dvou a více kusů je ekonomicky výhodnější výroba pomocí odlití modelu do formy ze silikonového kaučuku (viz tab. 3.1 a obr. 3.1), a to i v případě její minimální životnosti.

## ZÁVĚR

Bakalářská práce byla zaměřena na užití moderních technologií k výrobě držáku pro náhlavní sluchátka. Práce je rozdělena na dvě části, teoretickou a praktickou část. Teoretická část práce obsahuje rešerši technologií použitých k zhotovení modelu držáku. Popisuje technologii Rapid Prototyping, vhodnou pro výrobu prototypových dílů, blíže je zaměřena na metodu Fused Deposition Modeling. Obsahuje i popis technologie přesného lití pomocí metody vytavitelného modelu.

Praktická část práce je zaměřena na návrh a výrobu držáku sluchátek dvěma různými postupy. Prvním postupem je použití metody FDM a druhým odlití do silikonové formy. K návrhu virtuálního 3D modelu byla použita aplikace společnosti Autodesk, Inventor Professional 2016. Z toho byl hotový model exportován ve formátu STL, se kterým pracuje program CatalystEX. Tento program komunikuje s 3D tiskárnou Dimension uPrint použitou k vytisknutí fyzického modelu. 3D tiskárna pracuje na základě metody FDM. K zhotovení držáku byl použit materiál ABS Plus. Na povrchu vytištěného modelu byly poté zahlazeny přechody mezi vrstvami stavebního materiálu. Takto upravený model byl použit jako master model pro tvorbu silikonové formy.

Na základě složitosti odlévaného dílu byla silikonová forma vytvořena ze dvou částí. Jednotlivé části formy byly zhotoveny samostatně. K výrobě formy byl použit dvousložkový silikonový kaučuk Silastic T-4 společnosti Ebalta. Pomocí silikonové formy byly zhotoveny nejdříve voskové modely z voskové směsi A7-FR/1200 společnosti Blayson, které posloužily k ověření funkčnosti formy. Následně byly zhotoveny modely z dvousložkové pryskyřice Ebalta SG 2000. Povrch odlitých modelů byl před použitím upraven z důvodu funkčnosti a estetičnosti hotového dílu.

Technicko-ekonomické zhodnocení posloužilo ke srovnání obou metod výroby držáku sluchátek. Náklady na spotřebovaný materiál pro zhotovení jediného modelu jsou nižší při výrobě metodou FDM. Při výrobě dvou a více modelů je výhodnější výroba odlitím do silikonové formy. Je však časově náročnější než 3D tisk, který probíhá téměř bezobslužně.

**SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ**

1. PÍŠKA, Miroslav a kolektiv. Speciální technologie obrábění. 1. Vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM. 2009. 246 s. ISBN 978-80-214-4025-8.
2. NAVRÁTIL, R. Rapid prototyping [online]. Leden 2000 [vid. 2016-02-25]. Dostupné z: <http://robo.hyperlink.cz/rapid/index.html>
3. ŘASA, Jaroslav, KEREČANINOVÁ, Zuzana. Nekonvenční metody obrábění 9. díl. MMspektrum[online]. 2008, č. 11 [vid. 2016-02-25]. Dostupný z WWW: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-9-dil.html>
4. Future Technology Systems - Rapid Prototyping. [online]. [vid. 2016-03-21]. Dostupné z: <http://fts.gr/rapid-prototyping/>
5. GRIMM, Todd (2004), User's Guide to Rapid Prototyping, Society of Manufacturing Engineers, p. 55, ISBN 0-87263-697-6.
6. BAGARIA, Vaibhav, Darshana Rasalkar, Shalini Jain Bagaria and Jami Ilyas (2011). Medical Applications of Rapid Prototyping - A New Horizon, Advanced Applications of Rapid Prototyping Technology in Modern Engineering, Dr. M. Hoque (Ed.), ISBN: 978-953-307-698-0, InTech, [online]. [vid. 2016-03-21]. Dostupné z: <http://www.intechopen.com/books/advanced-applications-of-rapid-prototyping-technology-in-modernengineering/medical-applications-of-rapid-prototyping-a-new-horizon>
7. MCDONALD, Julia A., Ryall, Chris J., Wimoenny, David I., Wiley, J. & Sons (2001), Rapid Prototyping Casebook, ISBN: 1-86058-076-9.
8. PALOÚŠEK D. [online]. 2007 [vid. 2016-03-1]. Konference diplomových prací FSI UK VUT. Zařízení pro vakuové lití silikonových forem. Dostupné z: [http://dl.uk.fme.vutbr.cz/zobraz\\_soubor.php?id=358](http://dl.uk.fme.vutbr.cz/zobraz_soubor.php?id=358)
9. JEROME P. Lavelle, Hampton R Liggett, Hamid R. Parsaei, Economical Evaluation of Advanced Technologies: Techniques and Case Studies, CRC Press, 2002, 300s, ISBN 1560329157
10. RP Prototype Limited – Vacuum Casting. [online]. [vid. 2016-04-21]. Dostupné z: <http://www.rpprototype.com/wp-content/uploads/2013/03/Silicon-mold-1.jpg>
11. STRUBE O. I., Brickmann J., Hüsgen B., (2014), Enhancement of the Long Life Cycle of Silicone Molds for Vacuum Casting Processes, Polymer-Plastics Technology and Engineering, ISSN: 1525-6111
12. GUIPING, Liu. (2012). Material and Manufacturing Technology II, Part 1. Trans Tech Publications Ltd. ISBN 978-3-03785-252-1
13. Youde Prototype – Silicone Mold Vacuum Casting. [online]. [vid. 2016-04-21]. Dostupné z: <http://www.youde-prototype.com/upfile/img/151114/images/1447505336.JPG>

14. HORÁČEK, Milan. Technologie vytavitelného modelu: Rozměrová přesnost odlitků vyráběných metodou vytavitelného modelu [online]. Brno: Odbor slévárenství ÚST, FSI VUT Brno, 2009 [vid. 2016-03-5]. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/slevarenstvi/sites/default/files/clanky/technologie-vytavitelneho-modelu/technologie-vytavitelneho-modelu.pdf>
15. BEELEY, PR. a SMART, RF. Investment Casting. 1st ed. Cambridge: The University, Press, 1995. 486 p. ISBN 0-901716-66-9
16. Metal Goods – Investment Casting Process. [online]. [vid. 2016-04-21]. Dostupné z: <http://www.metalgoods.it/media/img/fase-04.jpg>
17. Bhingare Castings Pvt. Ltd. – Investment Casting Process. [online]. [vid. 2016-04-21]. Dostupné z: <http://bhingarecastings.com/investment.html>
18. Investment Casting - History, Materials and The Future. AZO materials [online]. 2003, 2013 [vid. 2016-03-07]. Dostupné z: <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=2104>
19. Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Autodesk Inventor [online]. [vid. 2016-03-12]. Dostupný z [https://en.wikipedia.org/wiki/Autodesk\\_Inventor](https://en.wikipedia.org/wiki/Autodesk_Inventor)
20. CAD STUDIO a.s., Praha, ČR. Autodesk inventor [online]. [vid. 2016-03-12]. Dostupné z <http://www.cadstudio.cz/inventor>
21. CatalystEX. software.informer. [online]. [vid. 2016-03-12]. Dostupné z: <http://catalystex.software.informer.com/>
22. Aplikace technologie rapid prototyping. [online]. 2001 [vid. 2016-03-18]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/aplikace-technologie-rapid-prototyping.html>
23. 3D natives - 3D-Druck durch Schmelzschichtung, wir erklären wie's funktioniert. [online]. [vid. 2016-04-21]. Dostupné z: <http://www.3dnatives.com/wp-content/uploads/FDM-process.jpg>
24. Stratasys – uPrint SE. [online]. [vid. 2016-04-21]. Dostupné z: [http://usglobalimages.stratasys.com/en/3D%20Printers/Idea%20Series/uPrint%20SE/uprint\\_se\\_3d\\_printer.png?v=634934266860211551](http://usglobalimages.stratasys.com/en/3D%20Printers/Idea%20Series/uPrint%20SE/uprint_se_3d_printer.png?v=634934266860211551)
25. MCAE SYSTEMS, spol. s.r.o., ČR. Dimension uPrint [online]. [vid. 2016-03-18]. Dostupné z <http://www.mcae.cz/novinka-uprint-se-3d-print-pack-1329746500>
26. 3D Printing With ABSplus. Stratasys. [online]. [vid. 2016-03-28]. Dostupné z: <http://www.stratasys.com/materials/fdm/absplus>
27. Silastic T-4. Ebalta. [online]. [vid. 2016-04-26]. Dostupné z: <http://www.ebalta.cz/cz/katalog-produktu/silikony/silastic-t-4>
28. The Blayson Group Ltd – Investment Casting Wax. [online]. [vid. 2016-04-26]. Dostupné z: <https://www.blayson.com/>



29. SG 2000 / Komp. A + B. Ebalta. [online]. [vid. 2016-04-26]. Dostupné z:  
<http://www.ebalta.cz/cz/katalog-produktu/rychleschnouci-lici-pryskyrice/pryskyriceneobsahujici-plniva/sg-2000-komp-a%C2%A0-b>.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

Symbol	Jednotka	Popis
$M_P$	[kg]	Hmotnost pryskyřice spotřebované na výrobu jednoho odlitku
$M_{SH}$	[kg]	Hmotnost horní poloviny formy
$M_{SS}$	[kg]	Hmotnost spodní poloviny formy
$N_{BP}$	[Kč]	Náklady na brusný papír
$N_B$	[Kč]	Náklady na použitou barvu
$N_C$	[Kč]	Náklady na výrobu držáku
$N_{FDM}$	[Kč]	Celkové náklady na 3D tisk
$N_{FÚ}$	[Kč]	Náklady na finální úpravu držáku
$N_M$	[Kč]	Náklady na 1 cm <sup>3</sup> materiálu
$N_P$	[Kč]	Náklady na použitý plnič
$N_{PC}$	[Kč]	Náklady na pryskyřicový model
$N_S$	[Kč]	Náklady na výrobu držáku odléváním
$N_{SC}$	[Kč]	Náklady na silikonovou formu
$N_{SM}$	[Kč]	Náklady na 1 kg silikonu
$N_T$	[Kč]	Náklady na 3D tisk
$N_Ú$	[Kč]	Náklady na úpravu master modelu
$V_C$	[cm <sup>3</sup> ]	Celkový objem spotřebovaného materiálu
$n$	[-]	Počet vyráběných kusů
Zkratka	Jednotka	Popis
2D	[-]	Dvourozměrný
3D	[-]	Trojrozměrný
ABS	[-]	Akrylonitril butadien styren – Druh plastu

CAD	[-]	Computer Aided Design – Počítačem podporované navrhování
CNC	[-]	Computer Numerical Control – číslicové řízení obráběcích strojů
DMLS	[-]	Direct Metal Laser Sintering – Metoda výroby
FDM	[-]	Fused Deposition Modeling – Metoda výroby
IPJ	[-]	Autodesk Inventor Project – Datový formát
IPT	[-]	Autodesk Inventor Part – Datový formát
Kč	[-]	Koruna česká
LOM	[-]	Laminated Object Manufacturing – Metoda výroby
RP	[-]	Rapid Prototyping – Rychlá výroba prototypů
RT	[-]	Rapid Tooling – Rychlá výroba nástrojů
SL	[-]	Stereolithography – Metoda výroby
SLS	[-]	Selective Laser Sinistering – Metoda výroby
SGC	[-]	Solid Ground Curing – Metoda výroby
STL	[-]	Stereolithography – Datový formát
UV	[-]	Ultra fialové záření
atd	[-]	A tak dál
cm	[-]	Centimetr
g	[-]	Gram
kg	[-]	Kilogram
hod	[-]	Hodina
mm	[-]	Milimetr
např.	[-]	Například
obr.	[-]	Obrázek
tab.	[-]	Tabulka

**SEZNAM PŘÍLOH**

- Příloha 1: Ebalta Silastic T-4 [27]  
Příloha 2: Ebalta SG 2000 [29]  
Příloha 3: Blayson A7-FR/1200 [28]

## PŘÍLOHA 1



### SILASTIC® T-4

**Silikonový kaučuk – základní hmota a tužidlo T-4/T-4**  
**Vysoce pevný silikonový tepelně odolný kaučuk**

#### Použití:

Silastic T-4 je vysoce pevný silikonový kaučuk k výrobě forem pro prototypy a malé série. Byla vyrobena zejména pro rychlou výrobu prototypů.

Silastic T-4 je dvousložkový silikonový kaučuk s možností volby tužidla a to mezi **T-4 S** (standard) nebo **T-4 O** (olejové). Po smíchání s tužidlem v poměru 10 : 1 se vytvrzuje při pokojové teplotě na průhledný (transparentní) kaučuk.

Tužidlo T-4 O vyvolává samomazný efekt, čímž vylepšuje separační vlastnosti materiálu.

Hlavní znaky

#### Vlastnosti:

- vynikající samoseparační vlastnosti
- vytvrzení je možno urychlit teplem
- velmi nepatrné smrštění a dobrá dimenzní odolnost
- Velmi tvrdý, ale flexibilní a tuhý
- Vhodný zejména pro použití při vyšších teplotách
- Dvě silikonová tužidla:
  - T-4 S (standard) nebo
  - T-4 O (olejové)

#### Popis:

Silastic T-4 je dvousložkový silikonový kaučuk s možností volby tužidla a to mezi **T-4 S** (standard) nebo **T-4 O** (olejové). Po smíchání s tužidlem v poměru 10 : 1 se vytvrzuje při pokojové teplotě na průhledný (transparentní) kaučuk.

Tužidlo T-4 O vyvolává samomazný efekt, čímž vylepšuje separační vlastnosti materiálu.

Hlavní znaky

#### Informace pro zpracování

		Směs SILASTIC S	Hmota	Tužidlo
Barva		průsvitná	-	-
Poměr míchání	Hmot. díly	-	<b>100</b>	<b>10</b>
Viskozita	mPas	cca 35 000	cca 70 000	cca 300
Čas zpracování	minut	90	-	-
Vytvrzení při pokoj. teplotě	Hod.	8	-	-

#### Vlastnosti

	Typ zkoušky	Jednotka	Hodnota
Tvrdost Shore	DIN 53505	Shore A	cca 40
Pevnost v tahu	EN ISO 527	MPa	6,7
Protažení	EN ISO 527	%	400
Odolnost proti přetržení	DIN ISO 34-1	kN/m	-
Hustota při 23°C	-	g/cm <sup>3</sup>	-
Lineární smrštění	Interní pokyny	%	<0,1

### **Zpracování a použití:**

Po smíchání s tužidlem v poměru 10:1 se vytvrzuje při pokojové teplotě na transparentní (průhledný) kaučuk. Tužidlo T-4 O vyvolává "samomazný efekt", čímž vylepšuje separační vlastnosti materiálu.

Hlavní znaky:

- rychlé vytvrzení za 6-8 hodin při pokojové teplotě
- nízká viskozita - snadné míchání a odplynění
- dobré separační vlastnosti

Povrch originálu musí být čistý bez zbytků staré hmoty. Při porézním povrchu používáme separátor voskový, anebo PTFE sprej. Mícháme v poměru 100:10 v čisté nádobě, důkladně až k úplnému spojení obou složek. Mícháme ručně nebo pomocí míchadla, plynule v menších dávkách a dbáme, aby teplota během míchání nestoupala nad 35°C. Doporučujeme směs podrobit vakuování pro odstranění vzduchu (1 - 2 min.). Během vakuování nabude směs až 5-ti násobku výchozího stavu, s čímž je třeba počítat při volbě velikosti mísící nádoby. Když vakuování neprovádíme, nanese vlasovým štětcem malou vrstvu (1-2 mm). Po jejím vytvrzení pak pokračujeme dále.

Odléváme co nejdříve, abychom snížili možnost pohlcení vzduchu. Vytvrzení do stavu flexibilní gumy nastane při teplotě 22-24°C za 6-8 hodin, pak můžeme rozebírat. Zkrácení vytvrzovací doby dosáhneme ohřevem, ale jen za cenu větší smrštivosti.

### **UPOZORNĚNÍ:**

Všechny elastomery vytvrzované tužidly, jsou při styku s určitými materiály náchylné k nedokonalému vytvrzení, to jest do 24 hod. Dojde jen k částečnému vytvrzení, anebo kontaktní plocha s druhým materiálem zůstává lepivá. Materiály, které obsahují aminy, organické sloučeniny cínu, nebo látky složené ze sloučenin kyselin, působí mimořádně silně proti vytvrzování. Proto doporučujeme přezkoušet míchací nádoby, formy, vlastní modely a separátory, zda nebrání vytvrzování.

### **Použití:**

Formy ze SILASTIC T-4 mají i při vysokých teplotách dlouhou životnost. Stálé používání nad 200°C však po delší době způsobuje snížení elasticity. Použití pro teploty nad 250°C se nedoporučuje.

Po úplném vytvrzení je SILASTIC T-4 velmi odolný chemikáliím. Dlouhodobý styk pryskyřicemi a dalšími agresivními hmotami může mít vliv na fyzikální vlastnosti, dělitelnost, eventuálně na přesnost rozměrů formy. Doporučuje se proto pravidelně rozměry forem přezkoušet.

### **Omezené ručení – prosím čtěte pozorně**

Údaje obsažené v tomto návodu byly zhotoveny dle nejlepšího svědomí na základě výzkumů provedených v Dow Corning. Protože D. C. nemůže ovlivnit způsoby použití a podmínky, za kterých se výrobky používají, je nutno provést testy, aby se zjistilo, že výrobky v ohledu na výkon, účinek a spolehlivost jsou vhodné pro určité použití zákazníkem. Návrhy na použití výrobků nejsou chápány jako pokus o porušení patentových práv. Dow Corning dává záruku pouze na to, že výrobky odpovídají v době dodání aktuálnímu popisu výrobku. Nároky na záruku a jím odpovídající povinnosti výrobce Dow Corning v případě uznání záruky se omezí na náhradní dodávku nebo vrácení kupní ceny daného produktu. Dow Corning neručí za náhodné nebo následné škody.

## PŘÍLOHA 2



### SG 2000 / Komp. A + B

Označení : vysoce jakostní, velmi tekutá rychletvrdnoucí lici hmota

Pryskyřice : SG 2000 Komp. A

Tužidlo : SG 2000 Komp. B

Barva : slonová kost

**Použití** - slévárenské modely

- jaderníky
- formovací desky
- negativy
- prototypy
- vakuové hlubokotažné formy
- kopírovací modely

**Vlastnosti materiálu** - neplněná

- velmi tekutá
- vysoká možnost plnění
- dokonalé celkové vytvrzení
- velmi vysoká pevnost
- vysoká tepelná odolnost

#### Informace pro zpracování

Výrobek		Směs SG 2000 / Komp. A + B	Pryskyřice SG 2000 Komp. A	Tužidlo SG 2000 Komp. B
Barva		slonová kost	bílá	žlutavá
Poměr míchání	hm. díly		100	100
Viskozita při 25°C	mPas	50 ± 5	80 ± 10	25 ± 5
Hustota při 20°C	g/cm <sup>3</sup>	1,10 ± 0,02	1,02 ± 0,02	1,14 ± 0,02
Čas zprac. 200g/20°C	minut	4	-	-
Vytvrzení při pokojové tep.	hod.	0,5 - 1	-	-

#### Fyzikální informace

Vlastnosti	Typ zkoušky	Jednotka	Hodnota
Pevnost v ohybu	EN ISO 178	MPa	57 ± 5
E-Modul ( v ohybu )	EN ISO 178	MPa	1500 ± 100
Deformace ohybem v okamžiku lomu	EN ISO 178	%	7,5 ± 0,4
Pevnost v tlaku	EN ISO 604	MPa	45 ± 5
Rázová houževnatost ( Charpy )	EN ISO 179	kJ/m <sup>2</sup>	24 ± 4
Tepelná odolnost tvaru dle Martens	DIN 53458	°C	66 ± 3
Tvrdost Shore	DIN 53505	Shore D	72 ± 2
Koeficient délkové roztažnosti	DIN 53752	10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>	-
Lineární smrštění	interní	%	-

#### Forma dodání:

Karton:

Jednotlivé balení: Pryskyřice SG 2000 Komp. A 1 kg; 5 kg; 25 kg  
Tužidlo SG 2000 Komp. B 1 kg; 5 kg; 25 kg



### **Poznámky ke zpracování**

Plniva by se měla do jednotlivých komponent vmíchat tak, aby měli asi stejnou viskozitu. Poté se dají obě komponenty velmi dobře společně promíchat.

Při malém množství a při dostatečných zkušenostech, je také možné nejdříve smíchat nenaplněné komponenty a teprve poté vmíchat plnivo, aniž by byla doba zpracování pro lití příliš krátká.

Odlévat na suchý a čistý povrch, který byl předem ošetřen vhodným separátorem.

### **Všeobecně**

U řady SG 2000 se jedná o vysoce hodnotné, téměř bezzápachové dvoukomponentní polyuretanové lici hmoty bez vmíchaného plniva. Toto plnivo se vmíchá teprve při promíchání obou komponent. K výběru jsou různé pryskyřičné komponenty, které se zpracovávají se stejným tužidlem. Jednotlivé typy se liší v době zpracování a vytvrzení.

Rychlé vytvrzení těchto materiálů způsobuje krátkou dobu doformování. Velmi nízká viskozita nám umožňuje vysoký stupeň plnění. Přidáním různých druhů plniv ovlivníme výsledné vlastnosti a pevnosti.

Nádoby s komponenty by se měli před použitím pečlivě promíchat (protřepat).

Stupeň plnění a způsob dodání plniv jsou uvedeny ve zvláštní tabulce.

Použitím surovin se mohou u výrobku vyskytnout barevné rozdíly, které nemají vliv na kvalitu a vlastnosti pryskyřice.

### **Skladování**

V temperovaných místnostech ( 18 – 25°C ) v neotevřeném originálním balení lze skladovat 6 měsíců.

Rozdělaná balení vždy uzavřít a co nejdříve zpracovat.

### **Ochranná opatření**

Při zpracování tohoto produktu by se mělo dbát ochranných opatření odborového svazu chemického průmyslu. Řídit se bezpečnostními radami.

### **Likvidace**

Vytvrzené materiály lze po domluvě s příslušným úřadem likvidovat jako domovní odpad.

Nevytvrzené výrobky se musí dle domluvy s příslušným úřadem náležitě zlikvidovat.

### **K upozornění**

Tyto údaje a doporučení byly stanoveny s největší starostlivostí na základě důkladných pokusů a dlouholetých, praktických zkušeností. Protože není možné kontrolovat zpracování přímo u spotřebitele, možnosti použití a pracovní metody jsou velice různorodé, není možné přebírat záruku za jednotlivé případy. Tyto údaje jsou nezávaznými informacemi nejsou zárukou za určité příznaky nebo vlastnosti produktu. Naše informace neosvobozují zákazníka od provedení vlastních průkazných zkoušek ve vztahu k používání a postupům.

V případě nutnosti záruky za údaje je nutná doplňující písemná dohoda.

## PŘÍLOHA 3



### Technical Data Sheet

#### A7- FR/1200 Filled Pattern Wax

Ash	0.05 % Max
Congeaing Point	62 - 69 °c
Drop Melting Point	70 - 75 °c
Filler Content	30 - 32 %
Filler Type	Neutral
Free Linear Contraction	0.6 - 0.9 %
Penetration	9 - 12 0.1mm
Specific heat (KJ/Kg @ 20°c)	3.4
Viscosity @ CP (1 Pa.s = 10 Poise)	1.4 - 2.2 Pa.s
Water Content	Nil

#### Injection Temperature Range

Extrusion	53 °c	Semi Solid	54 - 57 °c
Semi Liquid	58 - 63 °c	Liquid	64 - 73 °c

#### General Comments

A reclaimed pattern wax for the production of commercial type castings. The wax is a medium viscosity wax, which can be used as a liquid injection material but performs better if injected at or below the recorded congealing point. While maintaining the wax at temperatures exceeding 68°c it should be stirred slowly and continuously to prevent any filler from separating. When the wax is in the injection machine tank we suggest that if the holding temperature is lower than 66°c no stirring is necessary, between 66 - 68°c stir occasionally. The wax can be reclaimed for runner systems.

Blayson Olefines Ltd  
Investment Casting Wax

Denny Industrial Centre, Pembroke Avenue, Waterbeach, Cambridge CB5 9QP  
Tel +44 (0) 1223 861491 Fax +44 (0) 1223 441500